

# 钠置换铜盐中的铜的实验创新设计

吕秀丽

新疆克拉玛依市第六中学

**[摘要]**金属钠应该能将铜从硫酸铜水溶液中置换出来,但实验事实并非如此,实验过程中没有红色固体铜析出,而是生成了蓝色沉淀。本文从热力学和动力学两个角度分析这种“异常现象”的原因,并在此基础上进行实验改进,将铜盐中氯化铜溶于非质子极性溶剂丙酮中形成饱和溶液,并滴到金属钠的表面,由于钠与丙酮不反应,直接与铜离子接触置换出红色的铜,实现实验原理创新。

**[关键词]**金属钠;氯化铜;非质子极性溶剂;丙酮

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.08.1625

## 一、问题的背景

现行人教版化学必修一第三章钠的有关性质中涉及钠与硫酸铜溶液反应,根据金属活动性顺序表,金属钠应该能将铜从硫酸铜溶液中置换出来,但实验事实并非如此,将绿豆粒大小的钠放入盛有硫酸铜溶液的大烧杯或水槽中,即刻便发生剧烈的化学反应,但是没有观察到红色固体铜析出,而是析出了蓝色沉淀。一般的解释是钠太活泼了,先与水反应生成氢氧化钠和氢气,生成的氢氧化钠再与铜离子结合生成了蓝色沉淀 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 。由金属活动性顺序可知:铜的还原性比氢弱,则对应的阳离子 $\text{Cu}^{2+}$ 比 $\text{H}^+$ 氧化性强,应该钠与 $\text{Cu}^{2+}$ 先反应,为什么理论与实验事实不一样呢?

## 二、相关原理的研究

查阅资料<sup>[1][2]</sup>:由标准电极电势大小可定量判断离子的氧化还原性,标准电极电势数值越小,其还原型的还原性越强,氧化性的氧化性越弱。已知:

$E^\circ \text{Na}^+ / \text{Na} = -2.7109\text{V}$ ,  $E^\circ \text{Cu}^{2+} / \text{Cu} = 0.345\text{V}$ ,  $E^\circ \text{H}_2\text{O} / \text{H}_2 + \text{OH}^- = -0.8277\text{V}$ , 推知 $\text{Cu}^{2+}$ 氧化性比 $\text{H}_2\text{O}$ 强。热力学分析:当 $E = E^\circ_{(+)} - E^\circ_{(-)} > 0$ 反应能够发生,计算 $E_1 = E^\circ \text{Cu}^{2+} / \text{Cu} - E^\circ \text{Na}^+ / \text{Na} = 0.345 - (-2.7109) = 3.0529\text{V} > 0$ ,  $E_2 = E^\circ \text{H}_2\text{O} / \text{H}_2 + \text{OH}^- - E^\circ \text{Na}^+ / \text{Na} = -0.8277 - (-2.7109) = 1.9832\text{V} > 0$ 。数据说明钠与水、 $\text{Cu}^{2+}$ 都可以反应,且钠与 $\text{Cu}^{2+}$ 反应趋势更大。造成理论计算结果与实验事实不相符原因分析如下:

根据人教版必修一第二章离子反应中氯化钠在水中的溶解和电离示意图(图1)并查阅相关研究资料<sup>[3][4]</sup>可知:离子在水溶液中主要以水合离子的形式存在,推知硫酸铜水溶液中铜离子表面有聚集的水分子,由于金属钠活性很高,不仅可以与氧化性高的铜离子反应,而且可以与氧化性低的水分子反应。金属钠与硫酸铜溶液反应时,钠优先接触游离的水分子以及水合铜离子上的水分子,因此钠先与水分子发生反应。只有当表面的水分子完全消耗,金属钠才会与溶液中的铜离子反应。

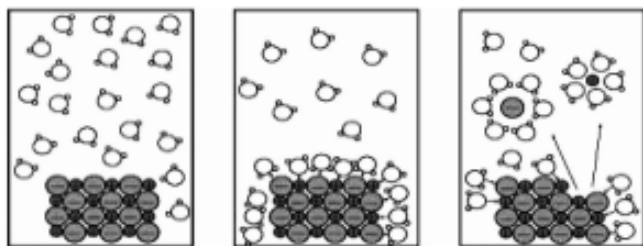


图1 氯化钠在水中的溶解和电离示意图

那么怎样才能将钠从硫酸铜中置换出铜? 查阅资料<sup>[6][7][8]</sup>

归纳总结出钠置换铜单质方法有二,第一种方法:钠与铜盐在熔融状态下反应,但本法对实验条件要求高,需在铁坩埚中加热进行,还需有保护气,以防钠与空气接触被氧化,操作起来比较繁琐,经多次实践,成功率并不高。第二种方法:选用非质子溶剂代替水来分散铜盐晶体,进而探究金属钠在该铜盐溶液中的反应情况。什么是质子性溶剂?分子中带有羟基或氨基的溶剂,笼统的说任何可以给出 $\text{H}^+$ 的溶剂,如水、乙醇、甲醇等。非质子性溶剂又称非质子传递溶剂、无质子溶剂。按其与其与溶质的相互作用关系可分为两类:非质子非极性溶剂,如苯、乙醚、四氯化碳等;非质子极性溶剂,如二甲亚砜、N,N-二甲基甲酰胺、丙酮等,因为非质子极性溶剂的分子具有极性,所以对溶质分子会有影响,会产生溶剂化效应。笔者采用非质子性溶剂溶解铜盐,去除钠可能与质子性溶剂如水等直接接触,若有红色铜生成则说明该体系中钠可以置换出铜。由于硫酸铜是离子化合物,在乙醇等有机溶剂中溶解度小,笔者改用共价化合物氯化铜,在搜狗百科文库中查阅氯化铜的物理性质可知,氯化铜易溶于水、乙醇和甲醇,溶于氨水,略溶于丙酮和乙酸乙酯,微溶于乙醚。笔者采用煤油、乙酸乙酯、丙酮分别溶解氯化铜,其溶解情况如表1所示:

表1 氯化铜在几种有机溶剂的溶解性

溶剂 (10mL, 27℃)	煤油	乙酸乙酯	丙酮
溶解程度	几乎不溶	溶解少量	可溶解约2.6克,其饱和溶液颜色呈墨绿色

氯化铜在丙酮中的溶解度较大的主要原因:氯化铜分子具有极性,而丙酮是非质子极性溶剂,对溶质分子会有影响,产生溶剂化效应。根据溶解结果笔者将氯化铜溶于丙酮配成氯化铜的丙酮饱和溶液。由于钠与丙酮不反应,直接可以置换出丙酮溶液中的铜,实现实验原理创新。

## 三、实验创新设计

1. 仪器及药品:试管、胶头滴管、表面皿、镊子、滤纸、小刀、金属钠一瓶、丙酮一瓶、氯化铜(粉末,又称二水合氯化铜)一瓶(图2)



图2 氯化铜粉末

2. 实验原理:利用氯化铜在丙酮溶液中溶解度较大,钠与

丙酮不反应，直接可以置换出丙酮溶液中的铜，实现实验原理创新。

### 3. 实验内容及步骤

(1) 取适量丙酮于试管中，加入氯化铜固体搅拌至不再溶解为止，即配成饱和溶液（图3）。



图3 氯化铜的丙酮饱和溶液

(2) 将金属钠取出，用滤纸吸干表面的煤油，用小刀将钠切成钠片（增大接触面），并置于表面皿上。

(3) 用胶头滴管吸取已配好的饱和氯化铜的丙酮溶液滴在钠表面上。

### 四、实验现象

1. 氯化铜在丙酮中溶解，室温下饱和溶液呈墨绿色（图3）。

2. 用胶头滴管将氯化铜的丙酮饱和溶液滴到钠的表面上，先有黑色物质产生，扒开黑色物质后，继续滴加此溶液，后有红色的物质析出（图4）。

现象解释：反应过程中出现的大量的黑色物质是什么？追究这黑色物质有两种可能性：可能是粉末状的铜，还可能是氧化铜。查阅资料<sup>[7][8]</sup>：在粉末状态时，一般金属都呈暗灰色或黑色，这是因为在粉末状态时，晶格排列不规则，把可见光吸收后辐射不出去，所以为黑色。黑色物质到底是铜还是氧化铜呢？笔者根据铜不溶于稀硫酸，而与硝酸反应，将产生的黑色物质分成两份，加入稀硫酸，固体部分溶解，溶液成蓝色，加入硝酸，黑色物质全部溶解，有红棕色气体产生，说明黑色物质既有粉末状的铜又有氧化铜。为什么会有这两种物质呢？查阅资料<sup>[9][10]</sup>可知无水氯化铜呈棕黄色，常以 $(\text{CuCl}_2)_n$ 的形

式存在，带结晶水的固体为绿色。实验所取氯化铜晶体是绿色的，带有结晶水，所配溶液仍有少量水，钠还是会与水发生反应，迅速生成氢氧化钠，再与 $\text{Cu}^{2+}$ 反应迅速生成氢氧化铜，反应放出的热使氢氧化铜分解为黑色氧化铜。但在丙酮量较多时，钠还是与 $\text{Cu}^{2+}$ 反应生成了单质铜。

### 五、结论

本实验说明一定条件下钠可以置换出铜，这符合活泼金属能置换不活泼的金属的规律。

1. 创新点：将铜盐中硫酸铜固体（离子化合物）换成氯化铜（共价化合物），溶解氯化铜的质子型溶剂水换成非质子极性溶剂丙酮，形成氯化铜的丙酮饱和溶液，避免了钠与铜盐水溶液反应的“异常现象”，实现钠置换氯化铜中的单质铜。

2. 优点：（1）反应快，钠表面很快有（紫）红色铜出现，现象明显。

（2）操作简单、所耗化学试剂量很少、相对安全。

### 六、实验反思

1. 实验创新不一定在实验装置、实验现象的明显性、实验安全性上进行改进，也可以用改变溶剂的方法进行实验原理的创新。拓宽实验改进的思路和方法。

2. 丙酮有毒、易挥发，实验后要注意丙酮的回收，可经蒸馏回收。

3. 受本地区实验条件的限制，本文只采用丙酮等三种物质做溶剂，还可用其他非质子极性溶剂，如二甲亚砜、N，N-二甲基甲酰胺等进行实验，系统比较溶解性大小及实验效果。

对实验的探究是无止境的，通过创新实验开发学生的思维、动手实践、善于发现问题、解决问题的能力才是更重要的，以此为契机，可探索培养学生的创新意识。

### 参考文献

[1] 宋天佑，程鹏，王杏乔，徐家宁编. 无机化学（第二版）（下册）[M]. 北京：高等教育出版社，2009：643.

[2] 赵新德. 对铝和铜盐置换反应实验的探讨[J]. 教学仪器与实验，2000，（5）：5~6.

[3] 颜标峰. 关于金属钠与硫酸铜溶液反应的思考[J]. 化学教与学，2017，（8）：84.

[4] 王维琪，孙瑜，马宏佳. 用数字化实验探究钠与硫酸铜的反应[J]. 中小学数字化教学，2019，（8）：9~13.

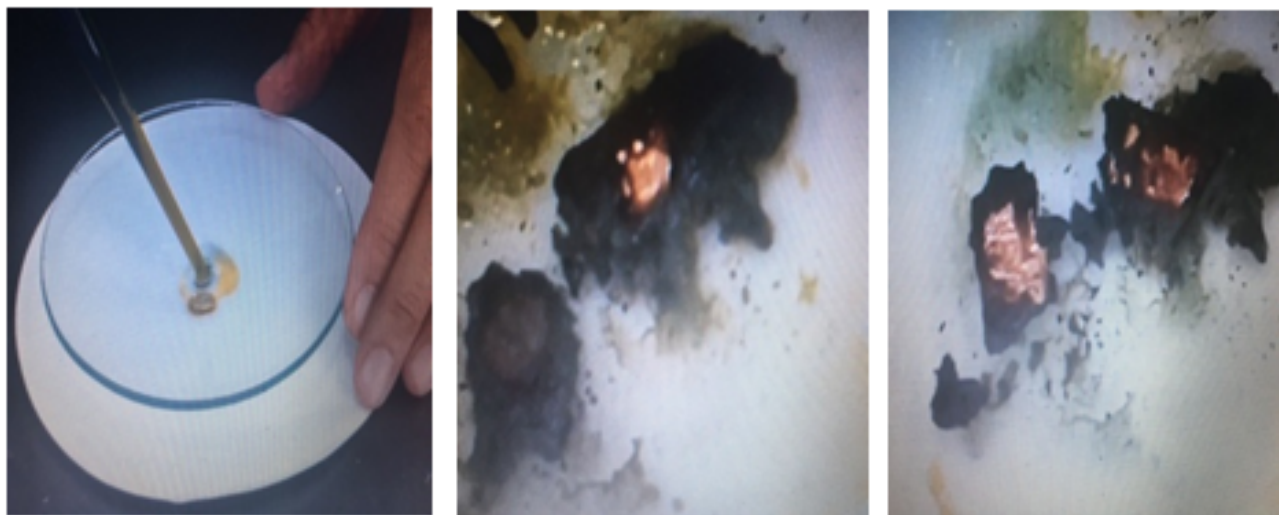


图4 钠与氯化铜的丙酮饱和溶液反应的现象